



## DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(51) Classification internationale des brevets <sup>6</sup> : H02N 1/00, A61M 25/00	A1	(11) Numéro de publication internationale: WO 99/30410 (43) Date de publication internationale: 17 juin 1999 (17.06.99)
--	----	--

(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR98/02613

(22) Date de dépôt international: 3 décembre 1998 (03.12.98)

(30) Données relatives à la priorité:  
97/15393 5 décembre 1997 (05.12.97) FR

(71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US): CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (CNRS) [FR/FR]; 3, rue Michel-Ange, F-75794 Paris Cedex 16 (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (US seulement): MINOTTI, Patrice [FR/FR]; 19, rue des Vignes, F-25660 Gennes (FR). BOURBON, Gilles [FR/FR]; 77, rue Fontaine Ecu, F-25000 Besançon (FR). LANGLET, Philippe [FR/FR]; 6, rue des Mille, F-62149 Festubert (FR). MASUZAWA, Takahisa [JP/JP]; LIMMS/CNRS - IIS, Institute of Industrial Science, University of Tokyo, 7-22-1, Roppongi, Minato-ku, Tokyo 106 (JP). FUJITA, Hiroyuki [JP/JP]; LIMMS/CNRS - IIS, Institute of Industrial Science, University of Tokyo, 7-22-1, Roppongi, Minato-ku, Tokyo 106 (JP).

(74) Mandataires: MARTIN, Jean-Jacques etc.; Cabinet Regimbeau, 26, avenue Kléber, F-75116 Paris (FR).

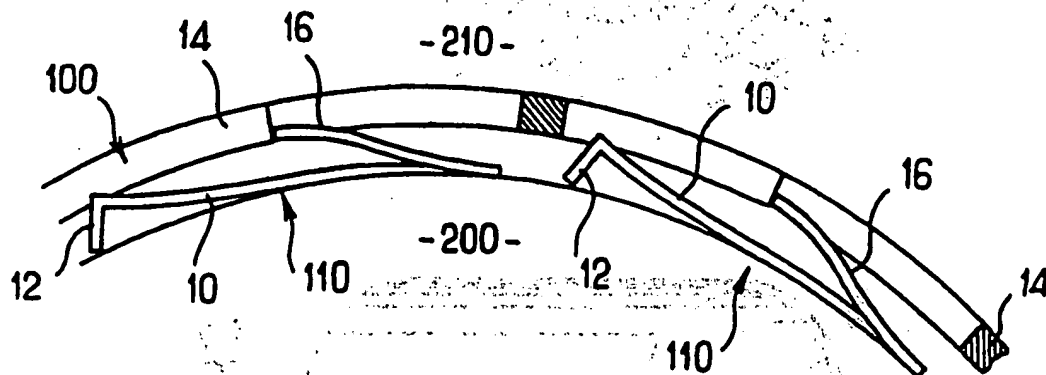
(81) Etats désignés: JP, US, brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

Publiée

Avec rapport de recherche internationale.

(54) Title: ELECTROSTATIC MICROACTUATORS, ACTIVE THREE-DIMENSIONAL MICROCATHERETERS USING SAME AND METHOD FOR MAKING SAME

(54) Titre: MICROACTIONNEURS ELECTROSTATIQUES, MICROCATHERETERS TRIDIMENSIONNELS ACTIFS EXPLOITANT CEUX-CI ET PROCEDE DE FABRICATION



## (57) Abstract

The invention concerns an electrostatic microactuator based on SDA ( Scratch Drive Actuators), characterised in that it comprises a large number of associated SDA's, and means adapted for applying on the latter an external mechanical prestress providing a superposition of the forces generated by the different SDA's and communicating to an external load the totality of the drive force derived from said SDA's collective performance.

## (57) Abrégé

La présente invention concerne un microactionneur électrostatique à base de SDA (Scratch Drive Actuators), caractérisé par le fait qu'il comprend un grand nombre de SDA (110) associés et des moyens adaptés pour, d'une part, appliquer sur ceux-ci une précontrainte mécanique extérieure propre à permettre une superposition des forces générées par les différents SDA et, d'autre part, communiquer à une charge extérieure la totalité de la force motrice issue du comportement collectif de ces mêmes SDA.

# **UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION**

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

AL	Albanie	ES	Espagne	LS	Lesotho	SI	Slovénie
AM	Arménie	FI	Finlande	LT	Lituanie	SK	Slovaquie
AT	Autriche	FR	France	LU	Luxembourg	SN	Sénégal
AU	Australie	GA	Gabon	LV	Lettonie	SZ	Swaziland
AZ	Azerbaïdjan	GB	Royaume-Uni	MC	Monaco	TD	Tchad
BA	Bosnie-Herzégovine	GE	Géorgie	MD	République de Moldova	TG	Togo
BB	Barbade	GH	Ghana	MG	Madagascar	TJ	Tadjikistan
BE	Belgique	GN	Guinée	MK	Ex-République yougoslave de Macédoine	TM	Turkménistan
BF	Burkina Faso	GR	Grèce	ML	Mali	TR	Turquie
BG	Bulgarie	HU	Hongrie	MN	Mongolie	TT	Trinité-et-Tobago
BJ	Bénin	IE	Irlande	MR	Mauritanie	UA	Ukraine
BR	Brésil	IL	Israël	MW	Malawi	UG	Ouganda
BY	Bélarus	IS	Islande	MX	Mexique	US	Etats-Unis d'Amérique
CA	Canada	IT	Italie	NB	Niger	UZ	Ouzbékistan
CF	République centrafricaine	JP	Japon	NL	Pays-Bas	VN	Viet Nam
CG	Congo	KE	Kenya	NO	Norvège	YU	Yougoslavie
CH	Suisse	KG	Kirghizistan	NZ	Nouvelle-Zélande	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KR	République populaire démocratique de Corée	PL	Pologne		
CM	Cameroun	KZ	Kazakhstan	PT	Portugal		
CN	Chine	LC	Sainte-Lucie	RO	Roumanie		
CU	Cuba	LI	Liechtenstein	RU	Fédération de Russie		
CZ	République tchèque	LK	Sri Lanka	SD	Soudan		
DE	Allemagne	LR	Libéria	SE	Suède		
DK	Danemark			SG	Singapour		
EE	Estonie						

## MICROACTIONNEURS ELECTROSTATIQUES, MICROCATHETERS TRIDIMENSIONNELS ACTIFS EXPLOITANT CEUX-CI ET PROCEDE DE FABRICATION

La présente invention concerne le domaine des microactionneurs  
5 électromécaniques, c'est à dire le domaine des microsystèmes adaptés pour fournir un effort mécanique contrôlé en réponse à une excitation électrique.

Plus précisément encore la présente invention concerne le domaine des microactionneurs électrostatiques dénommés « Scratch Drive Actuators »  
10 ou « SDA ».

On trouvera un descriptif de ces actionneurs dans les documents [ 1], [ 2] et [ 3].

Ces actionneurs proposés depuis quelques années, sont tout particulièrement destinés à l'entraînement direct des micromachines de  
15 dimensions micrométriques. Ils ont la particularité d'associer un mécanisme de transfert d'énergie mécanique par friction avec la mise en œuvre classique d'un champ de forces électrostatiques.

On se reportera utilement aux documents précités pour bien comprendre la structure générale et le fonctionnement de ces actionneurs:

20 Ceux-ci sont schématisés sur les figures 1A à 1D ci-jointes:

Pour l'essentiel, un SDA comprend une plaque ou poutre 10, par exemple en polysilicium, munie à une extrémité d'un muret ou coussinet 12 en saillie, dirigé vers un substrat 20, par exemple en Silicium, revêtu d'une couche isolante 22, par exemple en  $\text{Si}_3\text{N}_4$ . Un générateur 30 est adapté pour  
25 appliquer des impulsions de tension entre la plaque 10 et le substrat 20.

Comme on le voit sur la figure 1B, sur un front montant d'impulsion, la plaque 10 est attirée vers le substrat 20 par la force électrostatique générée entre ceux-ci. L'appui du muret 12 sur la couche 22 impose une flexion statique de la plaque 10, qui entraîne à son tour un déport du muret 12.

30 Sur le front descendant de l'impulsion, comme on le voit sur la figure 1C, la plaque 10 tend à reprendre sa géométrie de repos, grâce à l'énergie élastique emmagasinée dans la plaque 10, et se trouve alors décalée d'une

amplitude  $dx$  par rapport à sa position antérieure, en raison de l'appui défini entre le muret 12 et la couche 22.

Ainsi ces systèmes permettent de convertir des oscillations mécaniques de très faible amplitude ayant pour origine la flexion statique de la plaque

5 mince 10, en un mouvement de corps rigide de cette même plaque.

Les forces électrostatiques produites à l'interface plaque 10/substrat 20 sont d'autant plus intenses, pour une tension d'excitation donnée issue du générateur 30, que la hauteur du muret 12 située sous la plaque en flexion

10 est faible. La hauteur du muret 12 typiquement de l'ordre de un micromètre, introduit par ailleurs une forte démultiplication de vitesse dans le mécanisme de conversion d'énergie à l'interface plaque 10/substrat 20.

La démultiplication de vitesse intrinsèque aux très faibles déformations mécaniques mises en jeu dans la conversion d'énergie par friction, concourt à une multiplication duale des forces motrices générées au cours du

15 déplacement de la plaque. Les SDA ont ainsi la particularité de développer des forces utiles importantes à basse vitesse, en l'absence d'une quelconque réduction de vitesse auxiliaire.

La longueur du pas de déplacement dépend de la hauteur du muret 12, de la raideur de la plaque 10 et de la tension de commande appliquée. Le pas

20 de déplacement est typiquement de l'ordre de 25 nanomètres pour une plaque 10 présentant une largeur de l'ordre de 50 micromètres, une épaisseur de l'ordre de 1 micromètre et une longueur de l'ordre de 60 micromètres.

La répétition de tels cycles permet d'accumuler des pas de déplacement et

25 par conséquent permet un déplacement relatif important entre la plaque 10 et le substrat 20.

Cependant bien que se montrant très prometteurs, à la connaissance des inventeurs, les SDA sont jusqu'ici restés à l'échelle du laboratoire et n'ont pas connu de développement industriel.

30 Cela semble du en particulier au fait que l'effort généré par les SDA connus reste limité même si celui-ci est important à l'échelle micrométrique. Cet effort, typiquement de l'ordre de 50 à 100 micro-newton pour un SDA alimenté à une tension crête d'excitation de l'ordre de 100V, ne peut

satisfaire qu'un nombre limité d'applications exclusivement réservées à l'échelle des micromachines.

Et les tentatives d'accroître notablement cet effort en augmentant la taille des SDA n'ont pas été couronnées de succès jusqu'ici.

- 5 En effet d'une part les forces électrostatiques mises en jeu dans l'actionnement décroissent très rapidement avec l'augmentation des dimensions des SDA. D'autre part les procédés d'élaboration mis en jeu dans la fabrication des SDA interdisent l'élaboration de dispositifs ayant une épaisseur supérieure à quelques microns, ce qui constitue une limitation intrinsèque à l'augmentation des autres dimensions du SDA.

La présente invention a maintenant pour but de proposer de nouveaux moyens permettant de mettre en œuvre industriellement des SDA.

Allant à l'encontre des tentatives actuelles tendant à augmenter la taille d'un SDA pour obtenir un effort de sortie acceptable, dans le cadre de la

- 15 présente invention il est proposé de conserver des SDA de taille réduite mais de multiplier ceux-ci et de les associer dans des conditions adéquates pour permettre une addition des forces générées par chacun de ces SDA, à savoir en utilisant des moyens adaptés pour, d'une part appliquer sur lesdits SDA une précontrainte mécanique extérieure propre à permettre une superposition des forces générées par les différents SDA, et d'autre part communiquer à une charge extérieure la totalité de la force motrice issue du comportement collectif de ces mêmes SDA.

Cette précontrainte mécanique des SDA est avantageusement obtenue à l'aide d'une tension de polarisation appliquée au repos à l'ensemble des

- 25 SDA. Pour permettre de communiquer à une charge extérieure la totalité de la force motrice issue du comportement collectif des SDA, selon une caractéristique avantageuse de la présente invention, la feuille portant ces derniers est placée dans un jeu mécanique à l'interface de deux corps solides articulés entre eux.

Les inventeurs ont en effet démontré qu'une telle précontrainte, associée à des moyens garantissant la communication de la force motrice, à la charge

extérieure, était indispensable pour permettre un cumul des efforts générés par les différents SDA.

La coopération de microactionneurs a déjà été exploitée dans le domaine de la motorisation de micromachines mais, à la connaissance des  
5 inventeurs, uniquement au travers du développement de convoyeurs d'objets par friction dans le plan horizontal, afin de profiter de la gravité de l'objet déplacé. Pour de tels dispositifs, les forces motrices communiquées à l'élément mobile ne dépendent que de la masse de l'objet déplacé, ainsi que du coefficient de friction à l'interface objet/actionneurs (conformément  
10 aux lois de Coulomb sur le frottement solide). Dans ce cas les forces motrices communiquées à l'objet déplacé sont indifférentes tant du nombre que des caractéristiques motrices des actionneurs participant à la motorisation. De plus, ces mêmes forces motrices dépendent de la configuration de la machine (ou convoyeur), dans l'espace et notamment de  
15 l'horizontalité du plan de transfert de l'objet. Il est clair, par conséquent, que la multiplication du nombre d'actionneurs participant à la motorisation d'une seule et même charge, ne conduit pas nécessairement à une multiplication homologue des forces utiles mises en jeu dans la motorisation.

La présente invention se distingue des inventions précédentes parce qu'elle  
20 n'utilise pas la gravité (ou toute autre solution telle que la déformation élastique d'un ressort d'appui...), pour calibrer une précontrainte dans le processus de transmission de puissance mécanique. Elle utilise des forces d'attraction électrostatiques particulièrement intenses compte tenu de l'échelle des SDA, pour calibrer une précontrainte individualisée sur chaque  
25 actionneur impliqué dans la collectivité. Cette précontrainte est intrinsèque à chaque actionneur dans la mesure où elle est indifférente aux paramètres de la charge déplacée, contrairement aux dispositifs de l'art antérieur qui mettent en jeu la gravité de manière systématique. L'application de la précontrainte, dans le cadre de la présente invention, est par ailleurs  
30 naturelle car l'attraction électrostatique ne nécessite pas le recours à la déformation élastique d'un ressort d'appui auxiliaire. Pratiquement, celle-ci est obtenue à l'aide d'une tension de polarisation appliquée au repos à l'ensemble des SDA, comme indiqué précédemment. Par ailleurs, les forces

électrostatiques ne dépendent que de la position relative du SDA sur son substrat et sont indifférentes de la situation du substrat dans l'espace tridimensionnel.

L'invention proposée garantit par conséquent, contrairement aux dispositifs collectifs de l'art antérieur, une superposition effective des forces individuelles de chaque SDA, quelle que soit par ailleurs la configuration spatiale de la colonie considérée.

Les inventeurs ont par ailleurs constaté que les treillis support jusqu'ici proposés, et susceptibles d'associer plusieurs SDA, s'avèrent incapables de conserver leur intégrité mécanique lors de la transmission de forces extérieures importantes. Ces treillis connus sont formés généralement d'un assemblage de poutres extrêmement fragiles, ayant comme les SDA, une épaisseur de l'ordre de un micromètre (celles-ci étant fabriquées au même moment que les SDA, au cours d'un même processus et avec un matériau similaire). La fragilité des treillis connus est donc une limitation intrinsèque à la transmission d'efforts importants.

Ainsi selon une autre caractéristique avantageuse de la présente invention, allant à l'encontre des tentatives actuelles, les inventeurs proposent d'insérer des feuilles flexibles, par exemple en polysilicium, comportant un grand nombre de SDA, dans un jeu mécanique séparant deux corps solides articulés l'un par rapport à l'autre. Cette solution technique permet en effet de faire coopérer pratiquement un très grand nombre de SDA, dans des conditions propices à une superposition effective des forces motrices et de telle sorte que la transmission de puissance mécanique, qui résulte de l'accumulation des forces utiles produites par la collectivité, ne puisse être répercutée sur la structure matérielle raccordant l'ensemble des SDA.

A cette fin dans le cadre de la présente invention, les feuilles de SDA sont avantageusement constituées d'un cadre, en contact uniquement avec l'un des corps solides impliqués dans l'articulation, par exemple le bâti. Les SDA ne sont quant à eux qu'au contact exclusif de l'autre corps solide impliqué dans l'articulation, par exemple l'arbre moteur. Une telle configuration autorise une accumulation de force proportionnelle au nombre de SDA impliqués à l'interface. Elle garantit aussi et surtout l'intégrité du cadre

(parce que celui-ci est renforcé au contact du bâti), quelle que soit la transmission de puissance mécanique extérieure communiquée à l'élément mobile (ou arbre moteur).

L'invention concourt ainsi, dans sa globalité, à la possibilité physique et

- 5 matérielle (ou mécanique) d'impliquer un très grand nombre de SDA dans l'entraînement d'une seule et même charge, contrairement aux solutions connues de l'art antérieur.

Typiquement un système conforme à la présente invention intègre ainsi de quelques dizaines à quelques milliers de SDA.

- 10 Par ailleurs la présente invention propose des moyens spécifiques de mise en forme d'une feuille, par exemple en polysilicium, comportant un grand nombre de SDA, par flexion de barres venues de cette feuille.

La présente invention concerne également un procédé de mise en forme d'une feuille comportant un grand nombre de SDA, exploitant de tels

- 15 moyens.

Selon une autre caractéristique avantageuse de la présente invention, le système peut également comprendre des moyens formant capteur de force, par

exemple capteur de couple, comportant au moins une poutre intégrée à la feuille formant les SDA et adaptée pour être déformée lors de

- 20 l'actionnement du système, ladite poutre étant associée à des moyens d'analyse de sa déformation.

D'autres caractéristiques, buts et avantages de la présente invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui va suivre et en regard des dessins annexés, donnés à titre d'exemples non limitatifs et sur

- 25 lesquels

- les figures 1A à 1D précédemment décrites illustrent schématiquement la structure générale et le fonctionnement d'un SDA classique,

- la figure 2 illustre schématiquement un processus de décollement automatique d'une feuille de SDA par rapport à son substrat support,

- 30 conforme à la présente invention,

- la figure 3 schématise un processus d'enroulement d'une feuille de SDA conforme à la présente invention, autour d'un arbre moteur tubulaire,



- la figure 4 schématise une architecture mécanique d'une cellule élémentaire de SDA conforme à la présente invention,
  - la figure 5 schématise une feuille de SDA conforme à la présente invention, positionnée au niveau d'une interface entre un rotor et un bâti,
  - 5 - les figures 6, 7 et 8 représentent respectivement un moteur annulaire conforme à la présente invention, une vue partielle en coupe transversale de celui-ci, associé à ses moyens de commande électrique et une schématisation d'un capteur de couple intégré à ce moteur annulaire,
  - la figure 9 représente une vue schématique en perspective d'un cathéter
  - 10 conforme à la présente invention, mettant en œuvre une pluralité d'actionneurs SDA du type précité,
  - la figure 10 représente une vue en coupe longitudinale du même cathéter,
  - la figure 11 représente un module de base d'un tel cathéter,
  - la figure 12 illustre la déformation d'un tel module sous l'effet d'un
  - 15 actionneur à base d'un matériau à mémoire de forme, et
  - la figure 13 schématise l'utilisation d'un tel cathéter conforme à la présente invention dans un vaisseau sanguin.
- La structure générale connue des SDA ne sera pas décrite dans le détail par la suite.
- 20 Il en est de même de la technologie de fabrication de ceux-ci. Cette technologie dérivée de la technologie de fabrication des circuits intégrés est en effet connue de l'homme de l'art.
- Cependant on décrira par la suite un exemple de procédé de fabrication d'une feuille de SDA conforme à la présente invention.
- 25 Les dimensions nominales d'un SDA sont typiquement de l'ordre de quelques dizaines de micromètres de côté. Dans le cadre de la présente invention on peut ainsi prévoir des centaines, voire des milliers de SDA juxtaposés sur une surface de l'ordre du  $\text{mm}^2$ .
- De préférence dans le cadre de la présente invention, les SDA sont réalisés
- 30 par usinage chimique de feuilles minces en polysilicium dopé. Leur configuration peut faire l'objet de nombreuses variantes de réalisation. Il en est de même des conditions de raccordement des SDA à la trame de la

feuille, de la discrétisation de la feuille en cellules élémentaires (nombre de SDA par unité de surface) et de la surface de la feuille.

- Comme on l'a indiqué précédemment dans le cadre de la présente invention, pour permettre une addition des efforts élémentaires générés par
- 5 chaque SDA, ceux-ci sont soumis à une précontrainte mécanique extérieure, de préférence sous forme d'une tension de polarisation au repos, qui impose une flexion contrôlée permanente à la plaque 10 de chaque SDA.

- Comme on l'a indiqué précédemment, dans le cadre de la présente
- 10 invention, il est prévu en outre des moyens adaptés pour assurer que la totalité de la force motrice issue du comportement collectif des SDA soit communiquée à la charge extérieure.

Pour ce faire la feuille de SDA est de préférence placée dans le jeu mécanique entre deux corps solides articulés entre eux.

- 15 La feuille de SDA peut ainsi être placée entre le substrat sur lequel ladite feuille de SDA a été réalisée, et un corps solide rapporté.

- Cependant dans le cadre de la présente invention, la feuille de SDA est de préférence séparée tout d'abord de son substrat support, puis insérée dans le jeu mécanique précité existant entre deux corps solides articulés entre
- 20 eux.

Les feuilles en polysilicium comportant une colonie de SDA, conformes à la présente invention, présentent une grande flexibilité dès qu'elles sont décollées du substrat de silicium sur lequel elles ont été chimiquement usinées.

- 25 On peut donc prévoir différentes solutions pour transférer ces feuilles sur leur site d'utilisation.

- Selon une mise en œuvre particulièrement avantageuse de la présente invention, illustrée sur la figure 2, le décollement de la feuille comportant les SDA, par rapport à son substrat support, est opéré grâce à des barres de
- 30 flexion réparties à la périphérie de la feuille.

Bien entendu en variante on peut prévoir de telles barres de flexion en un autre lieu de la feuille, par exemple dans la masse de celle-ci, et non pas seulement à sa périphérie.

On aperçoit ainsi sur la figure 2 une feuille 100 de polysilicium comportant un grand nombre de SDA élémentaires 110. Cette feuille 100 repose sur le substrat en silicium 150 sur lequel ladite feuille 100 a été usinée. Cette feuille 100 comporte deux barres de flexion 120 parallèles disposées respectivement le long de deux bords opposés de la feuille 100. Les barres de flexion 120 sont séparées sur leur longueur, de la masse de la feuille 100 grâce à des découpes longitudinales 122 formées entre lesdites barres 120 et le corps central de la feuille 100. Les barres de flexion 120 sont ainsi usinées à partir de la masse de la feuille 100. Cependant les barres de flexion 120 restent solidaires, par l'une de leurs extrémités, de ce corps central de la feuille 100.

Lorsque les premiers rangs de SDA, transversaux aux bords latéraux précités et aux barres de flexion 120 ainsi que opposés aux zones de raccordement desdites barres 120 sur la feuille 100, sont activés, la feuille 100 avance dans le sens illustré par la flèche référencée D sur la figure 2. Pour cela une tension peut être appliquée entre les plaques 10 des SDA 110 concernés et une électrode enterrée dans le substrat 150.

Ainsi si les barres de flexion 120 sont par contre maintenues en position par rapport au substrat 150 au moins sur une partie de leur longueur, le déplacement de la feuille 100 entraîne une flexion des barres 120 dans une direction orthogonale au plan du substrat 150.

Et comme on le voit sur la figure 2, cette flexion des barres 120 provoque le décollement de la feuille 100 par rapport au substrat 150.

Le maintien des barres 120 par rapport au substrat 150 peut être obtenu par de nombreux moyens. De préférence dans le cadre de la présente invention, ce maintien est obtenu lui même grâce à des forces électrostatiques. Pour cela de préférence, comme on le voit sur la figure 2, il est prévu des électrodes spécifiques 160 sur le substrat 150, en regard des barres 120.

L'application d'une tension d'excitation entre ces électrodes 160 et les barres 120, à l'aide d'un générateur 132, permet ainsi de plaquer les barres 120 contre les électrodes 160.

Plus précisément encore, selon le mode de réalisation préférentiel illustré sur la figure 2 annexée, il est prévu plusieurs électrodes 160 discrètes

- réparties en regard des barres 120. Et chacune de ces électrodes 160 peut être alimentée sélectivement par le générateur 132, par l'intermédiaire d'un jeu d'interrupteurs respectifs 134. Ainsi la fermeture sélective d'un ou de plusieurs interrupteurs 134, permet de sélectionner la ou les électrodes 160 alimentée(s) et par conséquent de contrôler la zone des barres 120 maintenue sur le substrat 150.
- Les inventeurs ont montré qu'avec cette technique des rayons de courbure de quelques dizaines de microns peuvent être obtenus sur des feuilles de polysilicium 100.
- 10 La feuille 100 comportant les SDA 110 peut ainsi être reportée sur tout site d'utilisation souhaitée.
- On a illustré sur la figure 3 le report d'une feuille 100 sur un arbre moteur 200.
- Cet arbre 200 peut lui-même faire l'objet de nombreux modes de réalisation.
- 15 Selon le mode de réalisation particulier et non limitatif illustré sur la figure 3, il s'agit d'un arbre tubulaire dont l'enveloppe extérieure est cylindrique de révolution.
- Pour assurer le transfert de la feuille 100 sur l'arbre 200, celui-ci est déposé sur le substrat 150 au niveau de l'extrémité décollée de la feuille 100. Puis
- 20 l'arbre 200 est déplacé sous la feuille 100 au fur et à mesure du décollement de celle-ci, comme illustré par la flèche illustrée F sur la figure 3. Simultanément de préférence l'arbre 200 est animé d'un mouvement de rotation autour de son axe (comme schématisé par la flèche R sur la figure 3) de sorte que l'arbre 200 vient soutenir la feuille 100 au fur et à mesure de
- 25 son décollement, sans déplacement relatif entre la surface de l'arbre 200 et la feuille 100. Ainsi la feuille est progressivement transférée, sans risque de dommage, sur l'arbre 200.
- L'enroulement de la feuille 100 sur l'arbre 200 est facilité si l'on exploite simultanément une attraction électrostatique vers l'arbre moteur 200 lui-même.
- 30 Pour cela la feuille de polysilicium 100 peut être soumise à un potentiel de l'ordre de 100 à 200 V crête, tandis que l'arbre moteur est mis à la masse (ou inversement). Bien entendu une couche électriquement isolante doit

être prévue entre la feuille 100 et l'arbre 200. A cette fin l'arbre 200 peut être réalisé par exemple à partir d'un matériau électriquement conducteur oxydé en surface.

La présente invention n'est aucunement limitée à la réalisation d'un moteur tubulaire comme décrit en regard de la figure 3. Elle peut trouver application dans un grand nombre de configurations, telles que par exemple dans des moteurs linéaires.

Par ailleurs, selon l'orientation donnée aux SDA, sur les lignes et les colonnes d'une même feuille, il est possible de réaliser des moteurs à plusieurs degrés de liberté. Ainsi par exemple en exploitant deux séries de SDA possédant des orientations orthogonales, on peut réaliser des translateurs plans de type X-Y. On peut également réaliser des moteurs de type verrou associant un degré de liberté de rotation à un degré de liberté de translation.

L'insertion de la feuille 100 comportant les SDA 110 à l'interface entre le rotor 200 et un bâti externe associé, peut être réalisée de diverses façons. De préférence dans une première phase, la feuille 100 est soumise à un potentiel de l'ordre de 100V, tandis que le rotor 200 est mis à la masse. La feuille 100 est donc solidaire de l'arbre moteur 200, ce qui lui confère la rigidité nécessaire pour résister ultérieurement aux efforts d'insertion de l'arbre moteur dans le bâti.

L'insertion de l'arbre moteur dans son logement est ensuite opérée. Puis dans une phase ultérieure, la feuille 100 est bloquée par rapport au logement précité afin d'autoriser le mouvement relatif du rotor 200 par rapport au bâti. Pour satisfaire ce blocage le bâti du moteur est à son tour mis à la masse dans le but d'attirer le cadre de la feuille 100 de SDA. Le blocage en rotation de la feuille 100 est donc garanti par un champ de forces électrostatiques à l'interface feuille 100/bâti, ainsi que par les frottements secs induits par le contact de la feuille 100 sur le bâti. La feuille 100 doit être dimensionnée (en épaisseur notamment) de telle sorte que le cadre de la feuille 100 soit naturellement attiré par le bâti, tandis que les SDA 110 restent attirés par le rotor 200.

Pour cela chaque plaque 10 formant un SDA est supporté élastiquement dans un cadre 14 ménagé dans la feuille 100. Par exemple comme illustré sur la figure 4, chaque plaque 10 formant un SDA est supporté par un cadre 14 ménagé dans la feuille 100 par l'intermédiaire de deux barres de suspension parallèles 16. Celles-ci relient un bord longitudinal respectif de la plaque 10 opposé au muret 12, et le cadre 14. Les barres de suspension s'étendent perpendiculairement à la direction du muret 12.

Sur la figure 5 le bâti du moteur qui entoure le rotor 200 est référencé 210. Là encore une couche électriquement isolante doit être prévue entre le bâti 210 électriquement conducteur et les cadres 14. Cette couche isolante peut être obtenue par oxydation de la surface interne du bâti 210.

Une fois qu'elle a été ainsi fixée sur le bâti 210, la feuille 100 joue le rôle de stator.

Par ailleurs les barres de suspension précitées 16 sont de préférence adaptées pour permettre un déplacement radial important des SDA vis à vis du cadre 14 et permettre ainsi de compenser l'incertitude portant sur le jeu mécanique inévitable à l'interface rotor 200/bâti 210.

En effet les tolérances de fabrication mécaniques normalisées des dispositifs macroscopiques garantissent au mieux un jeu mécanique avec une incertitude de l'ordre d'une dizaine de microns pour un couple de rotation de 1mm de diamètre, soit une incertitude largement supérieure à deux fois l'épaisseur de la feuille de SDA 100.

Les barres 16 de suspension permettent ainsi une accommodation radiale de la feuille 100 dans le bâti 210, de sorte que les cadres 14 soient bloqués contre le bâti 210, tandis que les SDA sont en appui sur le rotor 200.

Les applications potentielles de la présente invention sont nombreuses. Elles concernent notamment la motorisation des micromachines depuis l'échelle micrométrique, jusqu'à l'échelle millimétrique.

On notera que les feuilles de SDA 100 peuvent s'insérer naturellement dans des liaisons mécaniques surfaciques présentant un jeu de fonctionnement. Ainsi les feuilles 100 de SDA occupent un volume nul du point de vue de l'encombrement effectif. La présente invention permet par conséquent de

réaliser des moteurs présentant un facteur volume/puissance, bien supérieur à tout système existant.

Par ailleurs dans la mesure où les feuilles de SDA occupent un volume effectif nul, il est possible de les intégrer aisément dans des liaisons

5 mécaniques d'un mécanisme sans affecter l'architecture mécanique de celui-ci.

De même les feuilles 100 de SDA conformes à la présente invention peuvent être intégrées dans des architectures mécaniques d'une articulation traditionnelle, sans encombrement additionnel, et ainsi donner

10 lieu à l'infrastructure d'un moteur. Les liaisons mécaniques produisent alors de l'énergie mécanique, alors qu'elles en dissipent traditionnellement depuis toujours en raison du frottement sec à l'interface des corps solides.

On a représenté sur les figures 6 à 8 une variante de réalisation selon laquelle le moteur est de type annulaire, c'est à dire qu'il comporte une

15 feuille plane 100 comportant un grand nombre de SDA 110, en forme de disque transversal à son axe de rotation O.

Un tel moteur est ainsi de type bidimensionnel par opposition au moteur précédemment décrit de type tridimensionnel.

La feuille 100 qui constitue un rotor comporte un grand nombre de SDA 110

20 agencés radialement à partir d'un moyeu central 102.

Typiquement mais non limitativement, le rotor 100 peut ainsi comprendre 36 SDA équirépartis autour de l'axe de rotation O. Les murets 12 de chacune

des plaques 10 en forme de secteur de couronne, s'étendent le long d'un bord longitudinal de ces plaques, selon un rayon dressé à partir de l'axe de

25 rotation O, et de préférence sur une partie seulement de l'extension radiale de ces secteurs de couronne, comme on peut le voir notamment sur les figures 6 et 7.

La rotation du rotor autour de l'axe O est obtenue grâce à une suite de déformation des plaques 10, conformément au principe précédemment

30 décrit en regard des figures 1, grâce à des impulsions appliquées par un générateur 130 entre les plaques 10 et une électrode 154 intégrée au support 150 formant stator sur lequel est disposé le rotor.

En outre le moteur illustré sur les figures 6 à 8 comprend un capteur de couple de rotation 180. Celui-ci est agencé au centre de la feuille 100.

Ce capteur 180 comprend au moins une poutre incurvée 182, centrée autour de l'axe de rotation O, dont une extrémité 181 est solidaire de la  
5 feuille 100, tandis que l'autre extrémité 183 de la poutre 182 est libre par rapport à ladite feuille 100.

Selon le mode de réalisation illustré sur la figure 6, le capteur 180 comporte trois poutres 182 équiréparties autour de l'axe de rotation O du rotor.

Les poutres 182 s'étendent dans le sens de rotation à partir de l'extrémité  
10 181 liée à la feuille 100.

Elles sont de préférence formées par usinage chimique dans la masse de la feuille 100 et de forme générale circulaire, en secteur de couronne.

Lorsque aucun effort n'est exercé sur les poutres 182, celles-ci sont contenues dans le plan de la feuille 100 et par conséquent aucun couple  
15 externe freinant n'est appliqué sur le rotor 100.

Cependant si l'extrémité libre 183 des poutres 182 est plaquée contre le support 150 du rotor qui forme stator, les poutres 182 sont soumises à un effort qui provoque leur flexion, comme schématisé sur la figure 8. Et l'amplitude de cette flexion dépend directement du couple moteur généré  
20 par les SDA. Ainsi la mesure de l'amplitude de la déformation des poutres 182 permet de mesurer directement le couple moteur des SDA.

Les poutres 182 peuvent ainsi être plaquées sur le support 150 par des forces électrostatiques résultant de l'application d'une tension adéquate appliquée par un générateur 136 entre chaque poutre 182 et des électrodes  
25 152 formées sur le support 150 en regard du trajet de déplacement des poutres 182.

Sur la figure 6, on a illustré sous la référence 154 une électrode annulaire formée sur le support 150, en regard du trajet de déplacement des murets  
12. Cette électrode 154 sert d'électrode d'entraînement et permet  
30 l'application d'une tension d'excitation entre cette électrode 154 et les plaques 10 des SDA, à l'aide du générateur 130.



La structure illustrée sur la figure 6 permet la réalisation de moteurs présentant par exemple un diamètre de l'ordre de 500 micromètres et une hauteur totale de quelques micromètres.

On va maintenant décrire un exemple de procédé de fabrication d'une

5 feuille de SDA conforme à la présente invention.

Une pastille de silicium de type n à 20  $\Omega$  cm est préparé par nettoyage dans une solution d'acide fluoridrique tamponnée. Après rinçage à l'eau et séchage sous  $N_2$ , la pastille est oxydée thermiquement à 1100°C sous  $O_2$ .

Une couche d'oxyde de silicium d'une épaisseur de l'ordre de 0,35

10 micromètre est ainsi formée à la surface de la pastille. Une couche de polysilicium d'une épaisseur de l'ordre de 0,5 micromètre d'épaisseur est ensuite déposée à 600°C par LPCVD (dépôt vapeur basse pression). Afin

de réduire la résistivité du polysilicium, du phosphore est implanté selon un dosage à  $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  sous une tension d'accélération de l'ordre de 50 keV.

15 Après une première lithographie, la couche de polysilicium est gravée par plasma  $SF_6$  de manière à obtenir un écran. Une couche de nitrure de silicium riche en silicium, d'une épaisseur de l'ordre de 0,3 micromètre est déposée ensuite sur toute la surface de la pastille à 800°C par LPCVD.

Cette couche protège la couche d'oxyde de silicium, à l'égard d'une gravure

20 à l'acide fluoridrique au cours d'une étape de gravure sacrificielle finale.

Puis une couche d'oxyde de silicium d'une épaisseur de l'ordre de 2 micromètres d'épaisseur est déposée en tant que matériau sacrificiel à 600°C par LPCVD.

Après une seconde lithographie, des moules de murets sont conformés par

25 gravure ionique réactive (RIE) avec un plasma  $CHF_3 + O_2$ . La profondeur

des moules de muret préalablement réalisés, détermine bien entendu la hauteur des murets qui seront formés. Par contrôle du temps de gravure,

une profondeur de muret de l'ordre de 1,5 micromètre peut être obtenue.

Ainsi une couche de l'ordre de 0,5 micromètre est préservée entre la

30 couche de nitrure et les murets.

Une troisième lithographie destinée à la réalisation des contacts est ensuite mise en œuvre. L'oxyde de silicium LPCVD et le nitrure de silicium sont retirés par RIE sous plasma  $CHF_3 + O_2$  de sorte que une couche de

polysilicium déposée par la suite puisse contacter localement la couche d'écran enterrée.

Une couche de polysilicium d'une épaisseur de l'ordre de 1,0 micromètre destinée à être ensuite conformée comme composant principal est alors

- 5 déposée sur la surface de la pastille à 600°C par LPCVD. L'épaisseur de SDA est déterminée par l'épaisseur de polysilicium. La couche de polysilicium structurelle est dopée par implantation de phosphore ( $5 \times 10^{15}$  cm<sup>-2</sup> sous une tension d'accélération de l'ordre de 150keV) et est ensuite conformée par RIE sous plasma SF<sub>6</sub> + SiCl<sub>4</sub> au cours d'une quatrième
- 10 étape de lithographie.

Afin de relâcher les contraintes résiduelles dans le polysilicium, la pastille est chauffée dans une atmosphère neutre de N<sub>2</sub> à 1100°C pendant 60mn, après dépôt d'une couche fine d'oxyde de silicium par LPCVD. Cette couche d'oxyde de silicium sert à protéger la surface de polysilicium vis à

- 15 vis de l'azote. Simultanément on opère une diffusion et une activation de phosphore dans le polysilicium.

Finalement la pastille est plongée dans un bain de HF à 50% afin de dissoudre totalement l'oxyde de silicium sacrificiel.

Puis la pastille est rincée dans une solution adéquate (par exemple eau +

- 20 alcool isopropyle) et séchée sous atmosphère neutre (par exemple azote).

Le microactionneur à base de SDA précédemment décrit peut trouver application dans un grand nombre de domaines.

On va maintenant décrire par la suite un exemple non limitatif d'application de ce microactionneur, dans la réalisation d'un cathéter, en regard des

- 25 figures 9 à 13 annexées.

On a ainsi illustré sur les figures 9 à 13 annexées un cathéter actif 300 de très petit diamètre (typiquement de l'ordre de 1mm), qui comprend dans un tube souple d'enveloppe 310, une série de modules 320 juxtaposés sur la longueur du tube 310.

- 30 Le tube 310 peut être formé par exemple en matériau polymère. Chaque module 320 comporte un moteur électrostatique tubulaire 340, un rotor élastique 350 et un actionneur à mémoire de forme 360.

Le moteur électrostatique 340 peut être globalement conforme aux dispositions précédemment décrite en regard de la figure 5. Ainsi le moteur 340 comporte de préférence une feuille 100 de SDA placée dans le jeu mécanique entre le rotor 350 (qui correspond à l'élément 200 de la figure 5) et un bâti tubulaire 210.

Le bâti tubulaire 210 est muni de gorges longitudinales 212 sur sa périphérie extérieure, pour permettre le passage de fils d'alimentation électrique isolés 214, nécessaires à l'alimentation des modules 320 situés en aval.

10 Le rotor 350 peut faire l'objet de nombreux modes de réalisation. Selon le mode de réalisation non limitatif représenté sur les figures 9 à 13, le rotor 350 comprend deux tronçons tubulaires 352, 356 d'extrémité reliés entre eux par un bras de liaison longitudinal 354. Les deux tronçons tubulaires 352 et 356 ont des diamètres identiques. Le bras de liaison 354 est de  
15 préférence formé par usinage d'un tube définissant à ses extrémités lesdits tronçons 352 et 356. Ainsi le bras de liaison 354 est de préférence constitué d'une barre longitudinale rectiligne au repos, en forme de secteur de cylindre dont le rayon de courbure correspondant à celui des tronçons 352 et 354. Le tronçon 352 du rotor a une longueur sensiblement identique à la  
20 longueur du bâti 210, et ledit tronçon 352 est introduit dans ce bâti 210, de sorte que le bras de liaison 354 et le second tronçon 356 émergent à l'extérieur du bâti 210.

Le rotor 350, au moins au niveau du tronçon 352 doit être réalisé en matériau électriquement conducteur, pour permettre l'application de forces  
25 électrostatiques sur la feuille de SDA 100. Cependant la surface externe du tronçon 352 doit être électriquement isolante, par exemple par oxydation. Comme indiqué précédemment le rotor 350 doit être suffisamment souple pour accepter des flexions sous l'effet de la commande de l'actionneur à mémoire de forme 360.

30 Le cas échéant comme on le voit sur la figure 11, le bras de liaison 354 peut être muni d'une série d'échancrures transversales 355 réparties sur sa longueur, entre les deux tronçons 352 et 356, et débouchant sur ses deux

bords longitudinaux, ou de tous moyens équivalents, pour obtenir la souplesse adéquate.

L'actionneur à mémoire de forme 360 peut également faire l'objet de nombreux modes de réalisation. Selon le mode de réalisation préférentiel

5 illustré sur les figures annexées, l'actionneur 360 est formé d'un barreau 362 centré sur le rotor 350 et dont les extrémités 364, 366 sont engagées respectivement dans les tronçons 356 et 352 du rotor. Le barreau 362 peut être formé par exemple en NiTi. L'une des extrémités du barreau 362 est fixée sur l'un des tronçons du

10 rotor, tandis que l'autre extrémité du barreau 362 est de préférence adaptée à l'autre tronçon du rotor, avec liberté de déplacement longitudinal par rapport à celui-ci, pour autoriser une flexion du barreau 362 et du rotor 350. A titre d'exemple, comme on l'a illustré sur les figures 9 à 13, l'extrémité 364 du barreau 362 peut ainsi être fixée sur le tronçon tubulaire 356 par une goupille transversale 363. L'autre extrémité 366 du barreau 362 est 15 engagée dans le canal central d'une rotule sphérique 367 positionnée dans le tronçon 352.

En variante, le barreau 362 en matériau à mémoire de forme peut être remplacé par toute structure équivalente, par exemple un fil ou un ressort

20 hélicoïdal. Le tronçon 356 d'extrémité du rotor d'un module 320 donné est de préférence relié au bâti 210 du module aval, tant en translation qu'en rotation, par tous moyens appropriés schématisés sous la référence 380 sur les figures annexées.

25 Le fonctionnement de ce microcathéter est essentiellement le suivant.

L'actionneur à mémoire de forme 360 permet de contrôler la flexion de l'arbre moteur 350 auquel il est associé, selon un plan de déformation préalablement défini par les paramètres géométriques du rotor élastique 350, comme cela est illustré sur la figure 12.

30 Le moteur tubulaire 340 est quant à lui adapté pour contrôler le plan de flexion de l'actionneur à mémoire de forme 360.

Ce système est schématisé sur la figure 13 dans un vaisseau sanguin 400.

Le dispositif global obtenu à l'aide de l'association en série de plusieurs modules 320 élémentaires combinant chacun un actionneur SDA 340 et un actionneur à mémoire de forme 360, permet de maîtriser un grand nombre de configurations bi ou tridimensionnelles (courbures planes avec points d'inflexions multiples, hélicoïdales, etc.), malgré une connectique

extrêmement simple. Ainsi les modules 320 conformes à la présente invention combinant un actionneur SDA 340 et un actionneur à mémoire de forme 360 peuvent trouver de nombreuses applications en dehors du microcathéter précité. Bien entendu la présente invention n'est pas limitée aux modes de réalisation qui viennent d'être décrits, mais s'étend à toutes variantes conformes à son esprit.

[ 1] « Controlled stepwise motion in polysilicon microstructures » T. Akiyama et K. Shono, J. MEMS, Vol. 2 N°3, pp 106-110, 1993

[ 2] « Scratch drive actuator with mechanical links for self-assembly of three dimensional MEMS », T. Akiyama, D. Collard et H. Fujita, J. MEMS, Vol. 26 N°1, pp 10-17, 1997 ;

[ 3] « Self-assembled microactuated XYZ stages for Optical Scanning and Alignment », L. Fan, M. C. Wu, K. D. Choquette et M. H. Crawford,

Transducers'97, International Conference on Solid-State Sensors and Actuators, pp319-322, Chicago, 1997.

## REVENDICATIONS

1. Microactionneur électrostatique à base de SDA (Scratch Drive Actuators), caractérisé par le fait qu'il comprend un grand nombre de SDA (110) associés et des moyens (130) adaptés pour, d'une part,  
5 appliquer sur ceux-ci une précontrainte mécanique extérieure propre à permettre une superposition des forces générées par les différents SDA et, d'autre part, communiquer à une charge extérieure la totalité de la force motrice issue du comportement collectif de ces mêmes SDA.
2. Microactionneur selon la revendication 1, caractérisé par le fait que les  
10 moyens adaptés pour appliquer une précontrainte mécanique sur les SDA (110) sont formés de moyens (130) aptes à appliquer une tension de polarisation au repos à l'ensemble des SDA.
3. Microactionneur selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé par le  
15 fait que les SDA sont formés dans une feuille support (100) et que celle-ci est placée dans un jeu mécanique à l'interface de deux corps solides (200, 210) articulés l'un par rapport à l'autre, de telle sorte que le cadre de la feuille (100) soit en contact avec l'un des corps solides (210), par exemple le bâti, tandis que les SDA (110) sont en contact avec l'autre corps (200) impliqué dans l'articulation, par exemple l'arbre moteur.
- 20 4. Microactionneur selon la revendication 3, caractérisé par le fait que la feuille (100) support de SDA est séparée de son substrat avant l'insertion dans le jeu mécanique entre les deux corps solides (200, 210).
5. Microactionneur selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé par le  
25 fait que chaque plaque (10) formant un SDA est supportée élastiquement dans un cadre (14) ménagé dans la feuille support (100).
6. Microactionneur selon la revendication 5, caractérisé par le fait que chaque plaque (10) formant un SDA est supportée par un cadre (14) ménagé dans la feuille (100), par l'intermédiaire de deux barres de  
30 suspension parallèles (16).
7. Microactionneur selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé par le fait que chaque SDA (110) comprend une plaque ou poutre (10), par exemple en polysilicium, munie à une extrémité d'un muret ou coussinet

- (12) en saillie, dirigé vers un substrat (20) revêtu d'une couche isolante (22) et un générateur (30) adapté pour appliquer des impulsions de tension entre la plaque (10) et le substrat (20).
8. Microactionneur selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé par le fait qu'il comprend de quelques dizaines à quelques milliers de SDA (110).
9. Microactionneur selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé par le fait que les SDA (110) sont réalisés dans une feuille (100) qui possède des barres de flexion (120) adaptées pour assurer une mise en forme de la feuille lorsque ces barres de flexion (120) sont bloquées sur un substrat (150), tandis que certains au moins des SDA (110) sont activés.
10. Microactionneur selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé par le fait qu'il comprend en outre des moyens (180) formant capteur de force, par exemple capteur de couple, comportant au moins une poutre (182) intégrée à la feuille formant les SDA et adaptée pour être déformée lors de l'actionnement du système, ladite poutre étant associée à des moyens d'analyse de sa déformation.
11. Microactionneur selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé par le fait que les SDA (110) sont réalisés par usinage chimique de feuilles minces en polysilicium dopé.
12. Microactionneur selon la revendication 9, caractérisé par le fait que le substrat (150) comprend des électrodes (160) en regard des barres de flexion (120) et des moyens aptes à appliquer une tension d'excitation entre ces électrodes (160) et les barres de flexion (120) pour plaquer les barres de flexion (120) contre les électrodes (160).
13. Microactionneur selon la revendication 12, caractérisé par le fait qu'il comprend plusieurs électrodes (160) discrètes réparties en regard des barres de flexion (120), susceptibles d'être alimentées sélectivement pour contrôler la zone des barres de flexion (120) maintenue sur le substrat (150).
14. Microactionneur selon l'une des revendications 1 à 13, caractérisé par le fait que la feuille de SDA (100) est placée sur un arbre tubulaire (200).

15. Microactionneur selon l'une des revendications 1 à 14, caractérisé par le fait qu'il comporte deux séries de SDA (110) possédant des orientations orthogonales, pour former un translateur plan de type X-Y.
16. Microactionneur selon l'une des revendications 1 à 15, caractérisé par le fait qu'il constitue un moteur de type verrou associant un degré de liberté de rotation à un degré de liberté de translation.
17. Microactionneur selon l'une des revendications 1 à 16, caractérisé par le fait qu'il constitue un moteur de type annulaire.
18. Microactionneur selon la revendication 17, caractérisé par le fait qu'il comporte une feuille plane (100) comportant un grand nombre de SDA (110), en forme de disque transversal à son axe de rotation O.
19. Microactionneur selon la revendication 18, caractérisé par le fait que la feuille (100) qui constitue un rotor comporte un grand nombre de SDA (110) agencés radialement à partir d'un moyeu central (102), les murets (12) de chacune des plaques (10) en forme de secteur de couronne des SDA, s'étendant le long d'un bord longitudinal de ces plaques, selon un rayon dressé à partir de l'axe de rotation O, et de préférence sur une partie seulement de l'extension radiale de ces secteurs de couronne.
20. Microactionneur selon la revendication 10, caractérisé par le fait que chaque poutre (182) possède une extrémité (181) solidaire de la feuille (100), tandis que l'autre extrémité (183) de la poutre (182) est libre par rapport à ladite feuille (100).
21. Microactionneur selon l'une des revendications 10 ou 20, caractérisé par le fait que le capteur (180) comprend trois poutres (182) équiréparties autour de l'axe de rotation O du rotor.
22. Microactionneur selon l'une des revendications 10, 20 ou 21, caractérisé par le fait que les poutres (182) s'étendent dans le sens de rotation à partir de leur extrémité (181) liée à la feuille (100).
23. Microactionneur selon l'une des revendications 10 et 20 à 22, caractérisé par le fait que les poutres (182) sont plaquées sur le support (150) par des forces électrostatiques résultant de l'application d'une tension adéquate appliquée par un générateur (136) entre chaque



- poutre (182) et des électrodes (152) formées sur le support (150) en regard du trajet de déplacement des poutres (182).
24. Microactionneur selon l'une des revendications 1 à 23, caractérisé par le fait qu'il est associé à un actionneur à mémoire de forme (360).
- 5 25. Microactionneur selon la revendication 24, caractérisé par le fait qu'il comporte au moins un module (320) comprenant un moteur rotatif (340) à base de SDA et un barreau de flexion (362) à mémoire de forme lié au rotor (350) du moteur rotatif (340).
26. Microactionneur selon la revendication 25, caractérisé par le fait qu'il  
10 comprend plusieurs modules (320) en série.
27. Microactionneur selon l'une des revendications 24 à 26, caractérisé par le fait qu'il est placé dans un tube souple (310).
28. Microactionneur selon l'une des revendications 25 à 27, caractérisé par le fait que le bâti tubulaire (210) du moteur rotatif (340) est muni de  
15 gorges longitudinales (212) sur sa périphérie extérieure, pour permettre le passage de fils d'alimentation électrique isolés (214), nécessaires à l'alimentation de modules (320) situés en aval.
29. Microactionneur selon l'une des revendications 25 à 28, caractérisé par le fait que le rotor (350) comprend deux tronçons tubulaires (352, 356)  
20 d'extrémité reliés entre eux par un bras de liaison longitudinal (354).
30. Microactionneur selon la revendication 29, caractérisé par le fait que l'une des extrémités d'un barreau (362) en matériau à mémoire de forme est fixée sur l'un des tronçons du rotor, tandis que l'autre extrémité du barreau (362) est adaptée à l'autre tronçon du rotor, avec liberté de  
25 déplacement longitudinal par rapport à celui-ci, pour autoriser une flexion du barreau (362) et du rotor (350).
31. Microactionneur selon la revendication 30, caractérisé par le fait que une extrémité (364) du barreau (362) est fixée sur un tronçon tubulaire (356) de rotor par une goupille transversale (363), tandis que l'autre  
30 extrémité (366) du barreau (362) est engagée, dans le canal central d'une rotule sphérique (367) positionnée dans un second tronçon (352) de rotor.

32. Microactionneur selon l'une des revendications 26 à 31, caractérisé par le fait que une extrémité du rotor d'un module (320) donné est reliée au bâti (210) du module aval, tant en translation qu'en rotation.
33. Microactionneur selon l'une des revendications 1 à 33, caractérisé par le fait qu'il constitue un microcathéter (300).
34. Microcathéter tridimensionnel actif comprenant au moins un microactionneur conforme à l'une des revendications 1 à 33.
35. Procédé de fabrication d'un microactionneur conforme à l'une des revendications précitées, caractérisé par le fait qu'il met en œuvre une feuille (100) comportant un grand nombre de SDA (110) et qui possède des barres de flexion (120), et qu'il comporte une étape de mise en forme de la feuille par blocage des barres de flexion (120) sur un substrat (150), tandis que certains au moins des SDA (110) sont activés, pour décoller ladite feuille (100) du substrat.
36. Procédé selon la revendication 35, caractérisé par le fait qu'un élément mobile de moteur, tel qu'un rotor (200) est déplacé sous la feuille (100) au fur et à mesure du décollement de celle-ci.
37. Procédé selon la revendication 36, caractérisé par le fait que ledit élément moteur (200) est animé d'un mouvement de rotation au cours de son déplacement sous la feuille (100) décollée de sorte que ledit élément moteur (200) vient soutenir la feuille (100) au fur et à mesure de son décollement, sans déplacement relatif entre la surface de l'élément moteur (200) et la feuille (100).
38. Procédé selon l'une des revendications 36 ou 37, caractérisé par le fait que une attraction électrostatique est générée entre la feuille (100) et ledit élément moteur (200) lors du transfert de la feuille sur ce dernier.
39. Procédé selon la revendication 38, caractérisé par le fait que l'attraction électrostatique est générée par application d'une tension entre la feuille (100) et ledit élément moteur (200).
40. Procédé selon l'une des revendications 35 à 39, caractérisé par le fait qu'une attraction électrostatique est maintenue entre la feuille de SDA (100) et un élément mobile (200) formant support de celle-ci, tel qu'un rotor, lors de l'introduction de cet élément (200) dans un bâti (210),

- tandis qu'après mise en place de l'élément (200) dans le bâti on applique une attraction électrostatique entre le bâti (210) et des cadres de la feuille (100) entourant chaque SDA (110) pour immobiliser le corps de la feuille par rapport au bâti (210) tout en permettant aux murets actifs (12) des SDA de reposer sur ledit élément mobile pour entraîner celui-ci lors de l'excitation des SDA (110).
- 5



2/7

FIG. 3

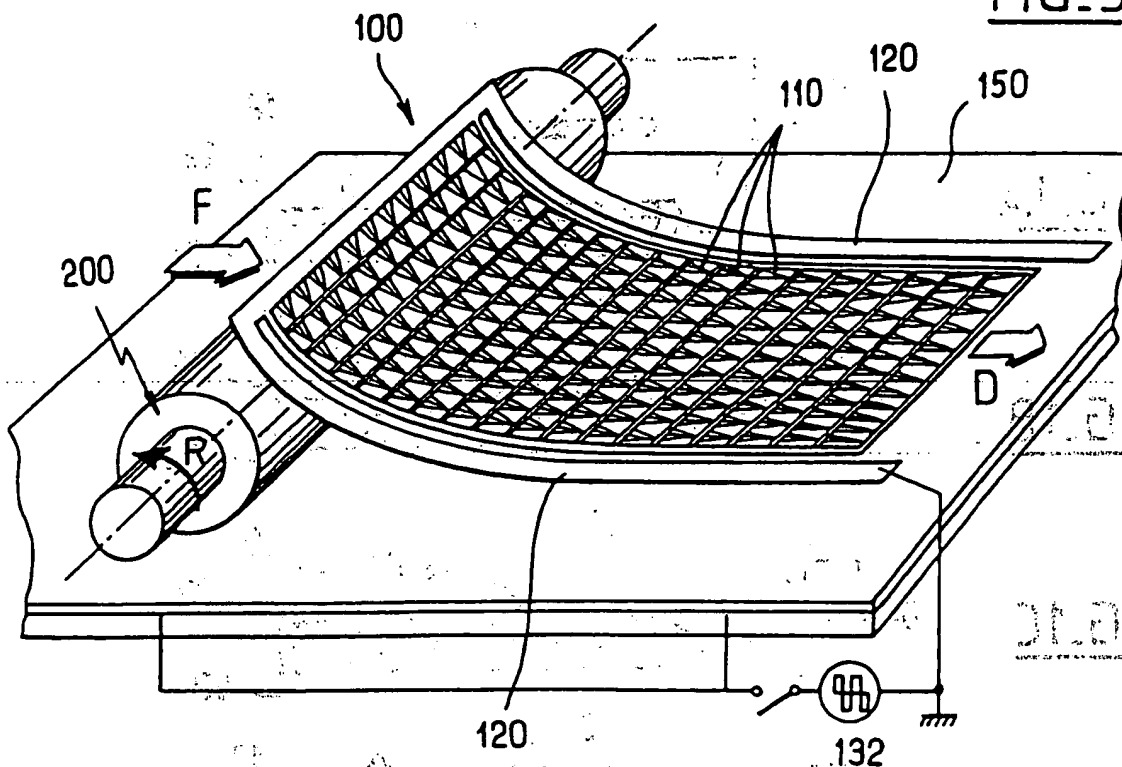
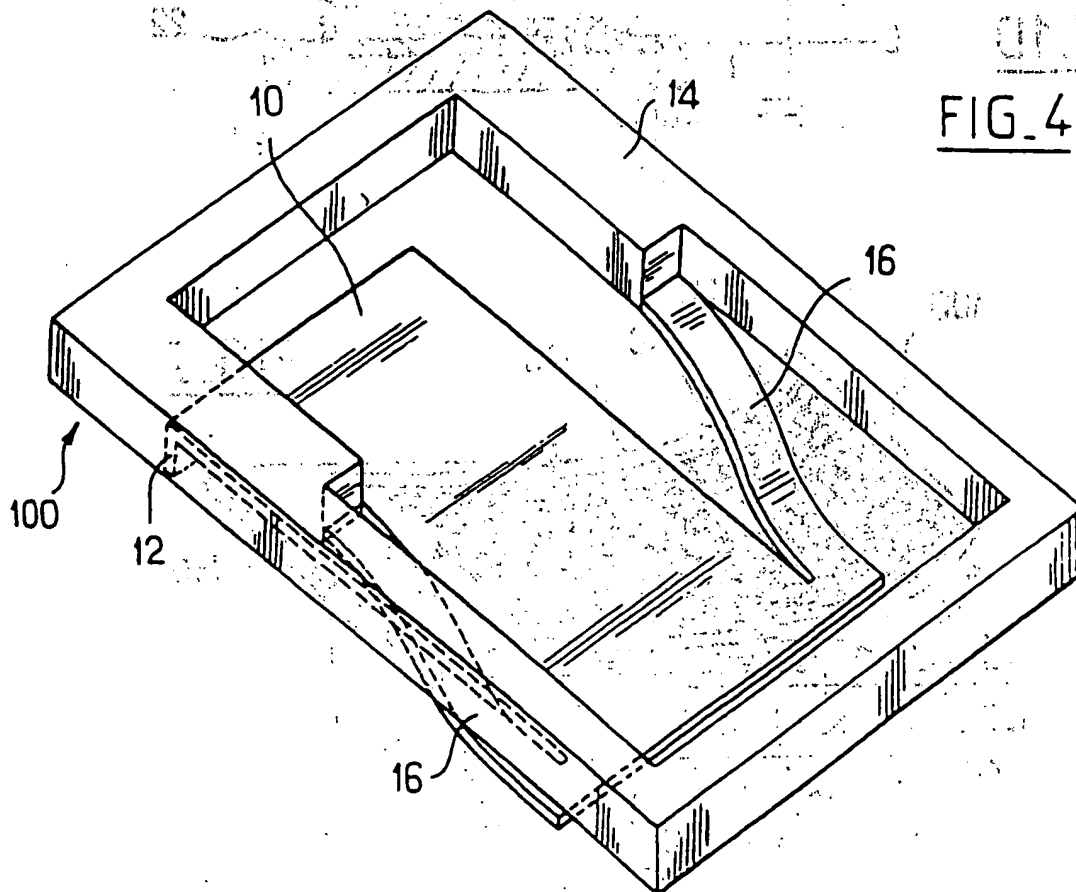


FIG. 4



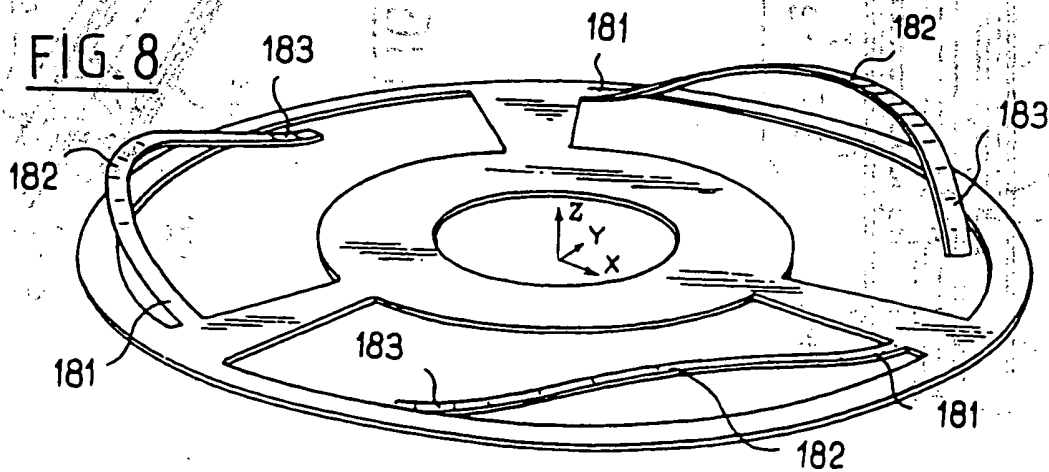
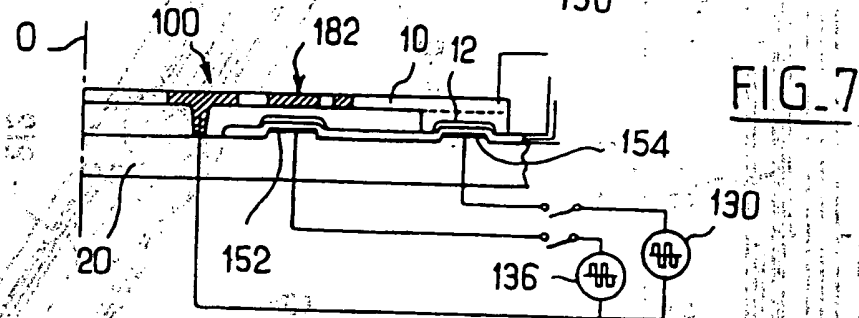
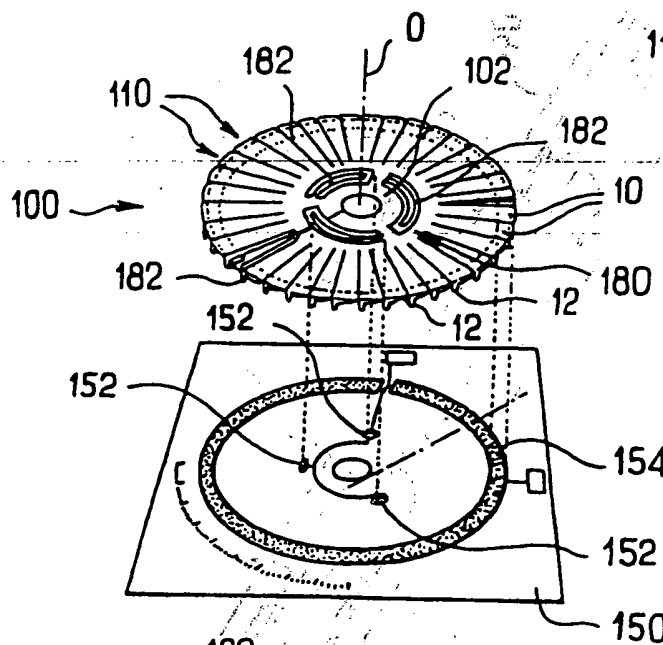
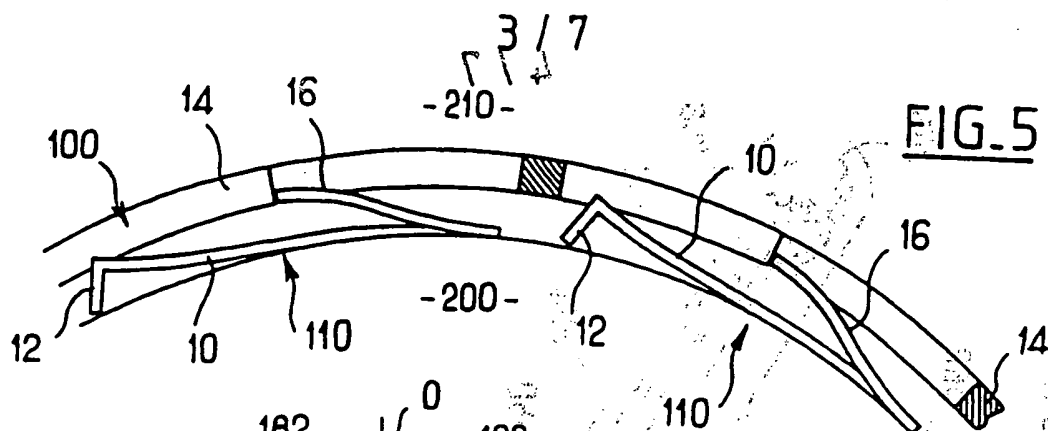


FIG. 10

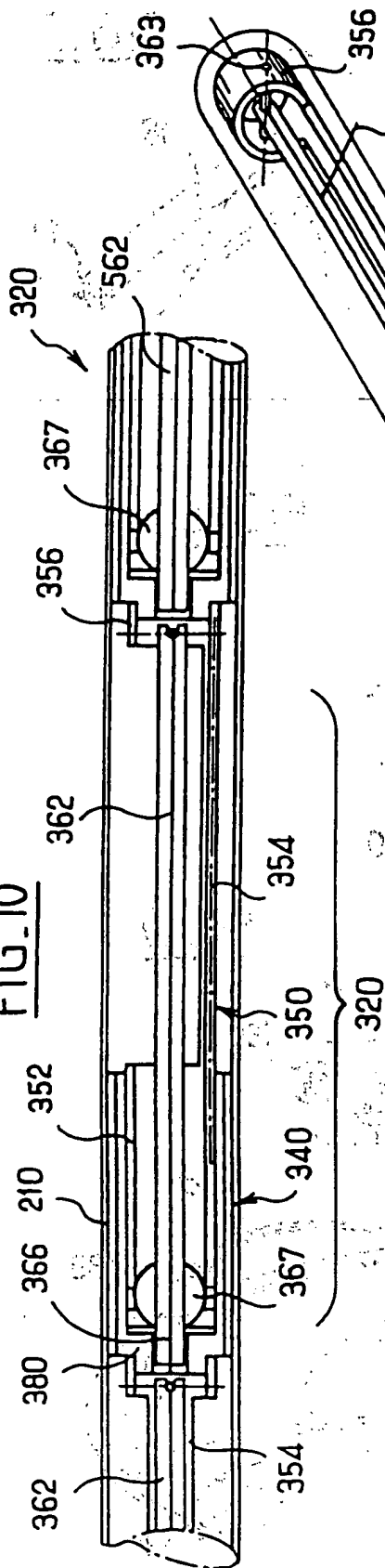


FIG. 9

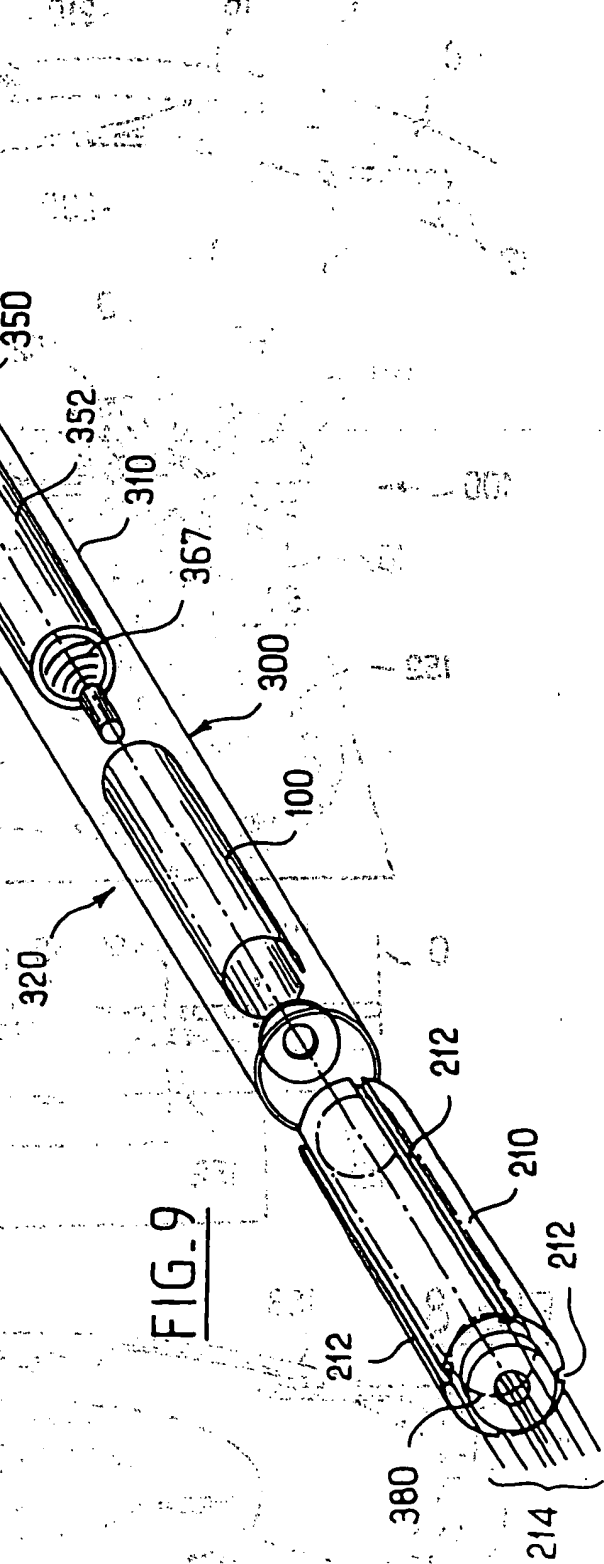
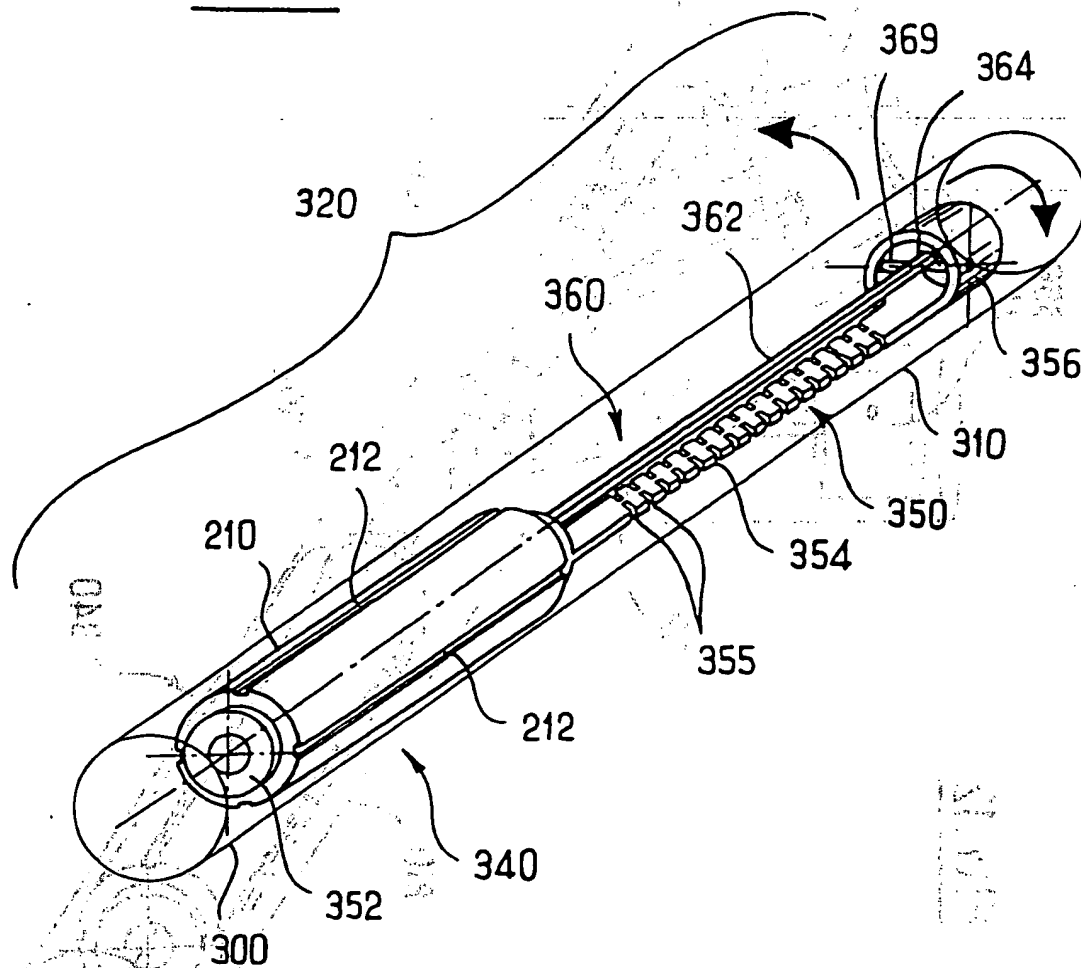


FIG. 11





6/7

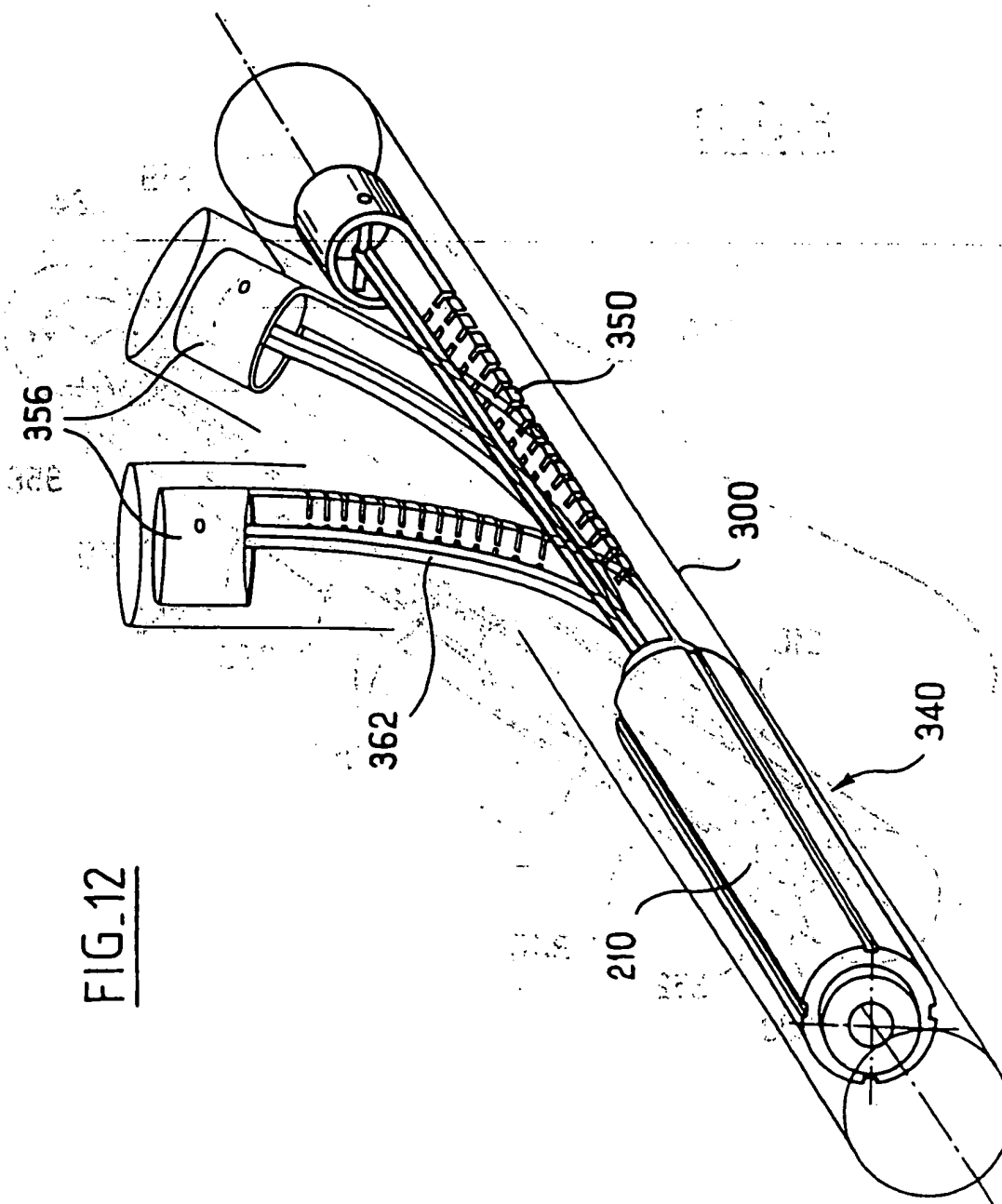
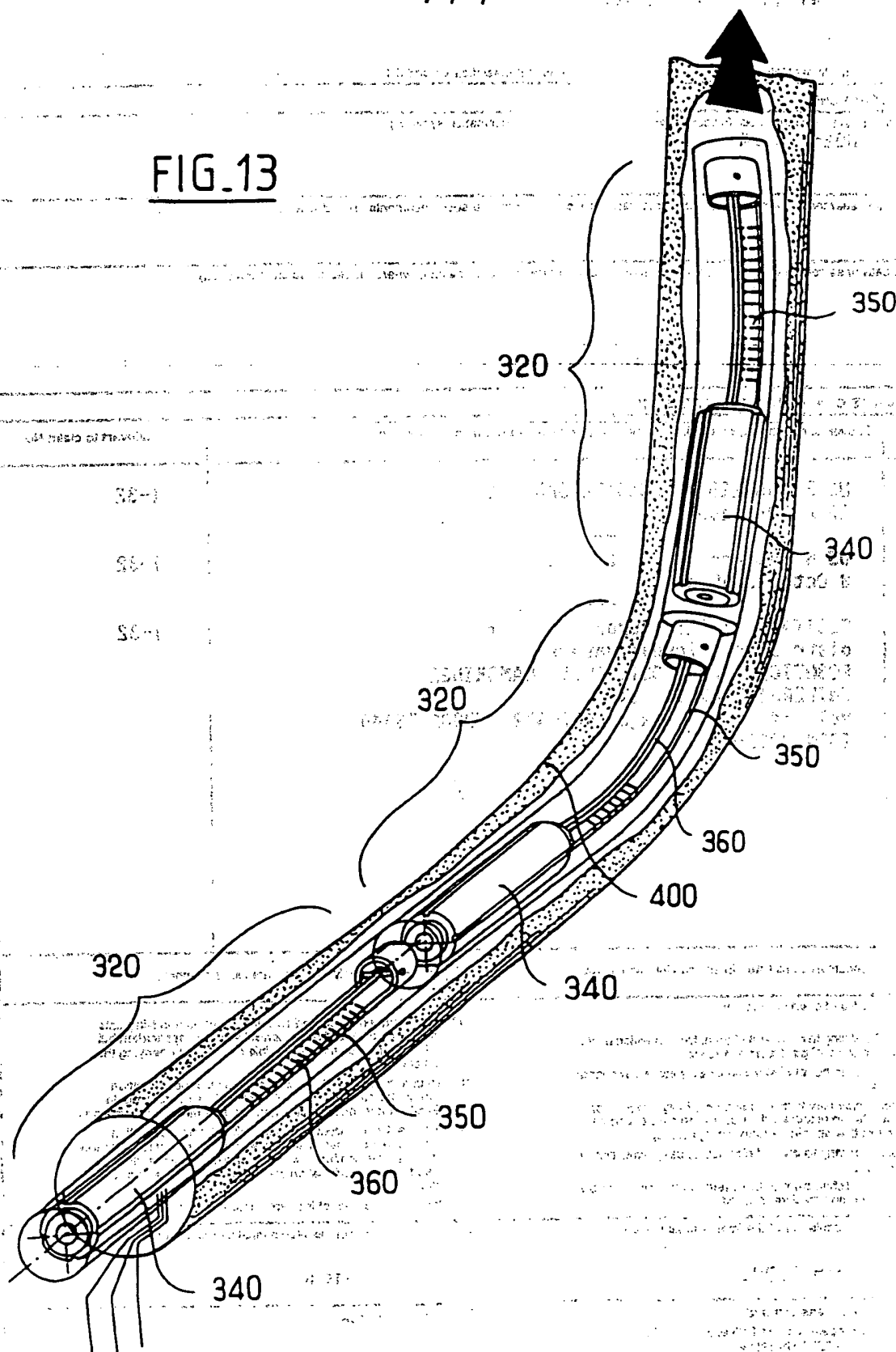


FIG. 12

777

FIG. 13



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intern. Application No. 98/02613

PCT/FR 98/02613

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 6 H02N1/00 A61M25/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 H02N A61M

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 235 225 A (COLGATE JAMES E ET AL) 10 August 1993	1-32
A	US 5 563 466 A (RENNEX BRIAN G ET AL) 8 October 1996	1-32
A	FUJITA H ET AL: "Group work of distributed microactuators" ROBOTICA, SEPT.-OCT. 1996, CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, UK, vol. 14, pt.5, pages 487-492, XP002076440 ISSN 0263-5747	1-32

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"S" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

16 March 1999

Date of mailing of the international search report

23/03/1999

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Ramos, H

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intern. Application No

PCT/FR 98/02613

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>FURUHATA T ET AL: "ARRAY-DRIVEN ULTRASONIC MICROACTUATORS ARRAYED MICROACTUATOR MODULES THAT HAVE SWING PINS"  TRANSDUCERS, SAN FRANCISCO, JUNE 24 - 27, 1991,  no. CONF. 6, 24 June 1991, pages 1056-1059, XP000560535  INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS</p>	1-32
A	<p>TOSHIO FUKUDA: "GIANT MAGNETOSTRICTIVE ALLOY(GMA) APPLICATIONS TO MICRO MOBILE ROBOT AS A MICRO ACTUATOR WITHOUT POWER SUPPLY CABLES"  30 January 1991 , PROCEEDINGS OF THE WORKSHOP ON MICRO ELECTRO MECHANICAL SYSTEMS INVESTIGATION OF MICRO STRUCTURES, SENSORS, ACTUATORS, MACHINES AND ROBOTS, NARA, JP., JAN. 30 - FEB. 2, 1991, NR. WORKSHOP 4, PAGE(S) 210 - 215 , INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS  XP000295570</p>	33-40
A	<p>PATENT ABSTRACTS OF JAPAN  vol. 018, no. 012 (C-1150),  11 January 1994  &amp; JP 05 253175 A (OLYMPUS OPTICAL CO LTD), 5 October 1993  see abstract</p>	33-40

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Intern. Application No. 1

PCT/FR 98/02613

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5235225 A	10-08-1993	NONE	
US 5563466 A	08-10-1996	NONE	

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demander internationale No

PCT/FR 98/02613

## A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

CIB 6 H02N1/00 A61M25/00

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

## B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 6 H02N A61M

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

## C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie \* Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents no. des revendications visées

A US 5 235 225 A (COLGATE JAMES E ET AL)  
10 août 1993

A US 5 563 466 A (RENNEX BRIAN G ET AL)  
8 octobre 1996

A FUJITA H ET AL: "Group work of  
distributed microactuators"  
ROBOTICA, SEPT.-OCT. 1996, CAMBRIDGE  
UNIVERSITY PRESS, UK,  
vol. 14, pt.5, pages 487-492, XP002076440  
ISSN 0263-5747

1-32

1-32

1-32

-/--

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

### \* Catégories spéciales de documents cités:

- "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- "&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

16 mars 1999

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

23/03/1999

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Ramos, H

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Démar. Internationale No  
PCT/FR 98/02613

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie	Identification des documents cités. avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	<p>FURUHATA T ET AL: "ARRAY-DRIVEN ULTRASONIC MICROACTUATORS ARRAYED MICROACTUATOR MODULES THAT HAVE-SWING PINS"</p> <p>TRANSDUCERS, SAN FRANCISCO, JUNE 24 - 27, 1991,</p> <p>no CONF. 6, 24 juin 1991, pages 1056-1059, XP000560535</p> <p>INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS</p>	1-32
A	<p>TOSHIO FUKUDA: "GIANT MAGNETOSTRICTIVE ALLOY(GMA) APPLICATIONS TO MICRO MOBILE ROBOT AS A MICRO ACTUATOR WITHOUT POWER SUPPLY-CABLES"</p> <p>30 janvier 1991 - PROCEEDINGS OF THE WORKSHOP ON MICRO ELECTRO MECHANICAL SYSTEMS INVESTIGATION OF MICRO STRUCTURES, SENSORS, ACTUATORS, MACHINES AND ROBOTS, NARA, JP., JAN. 30 - FEB. 2, 1991, NR. WORKSHOP 4, PAGE(S) 210 - 215, INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS XP000295570</p>	33-40
A	<p>PATENT ABSTRACTS OF JAPAN</p> <p>vol. 018, no. 012 (C-1150),</p> <p>11 janvier 1994</p> <p>&amp; JP 05 253175 A (OLYMPUS OPTICAL CO LTD), 5 octobre 1993</p> <p>voir abrégé</p>	33-40

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Deman internationale No

PCT/FR 98/02613

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5235225 A	10-08-1993	AUCUN	
US 5563466 A	08-10-1996	AUCUN	